

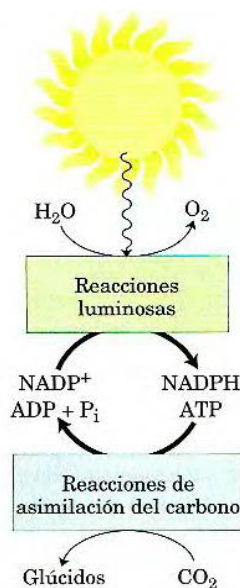
T.P. DE AULA N° 6**SÍNTESIS FOTOSINTÉTICA DE GLÚCIDOS EN VEGETALES****REACCIONES DE FIJACIÓN DEL CARBONO****OBJETIVOS**

- Vincular los productos de las “reacciones luminosas” de la fotosíntesis ya estudiadas, con las de “fijación del carbono”.
- Comprender las reacciones fijación del carbono en el cloroplasto.
- Analizar las etapas del Ciclo de Calvin relacionándolas con vías metabólicas ya conocidas.
- Comprender la regulación de la fijación del carbono mediada por la luz.
- Analizar la “desventaja” evolutiva de la Rubisco y del fenómeno de fotorrespiración.
- Abstraer la importancia adaptativa de las plantas con metabolismo C_4 .

INTRODUCCION

Las reacciones luminosas de la fotosíntesis, estudiadas anteriormente, incluyen el transporte electrónico fotoinducido que genera NADPH y ATP a expensas de la energía solar.

Estos productos se utilizan en las reacciones de asimilación o fijación del carbono, que tienen lugar con luz o en oscuridad, para reducir CO_2 y formar triosas y otros compuestos más complejos derivados de las triosas, como por ejemplo glucosa.



Extraído de Lehninger A.L., Nelson D., Cox M., "Principios de Bioquímica", 2006.

Las reacciones de fijación del carbono por organismos fotosintéticos se organizan en el Ciclo de Calvin que ocurre en el estroma del cloroplasto y tiene lugar en tres fases: la propia reacción de fijación del CO_2 catalizada por la enzima Ribulosa-1,5-bisfosfato-carboxilasa-oxigenasa (Rubisco); la fase de reducción del 3-fosfoglicerato resultante en gliceraldehído-3 fosfato y la fase de regeneración de la ribulosa-1,5-bisfosfato a partir de las triosas resultantes. (Fig 20)

La etapa de reducción está catalizada por isoenzimas de las enzimas glicolíticas que se encuentran en el estroma y en ella se gasta NADPH y ATP.

En la tercera etapa, enzimas del estroma como transcetolasa y transaldolasa, reordenan los esqueletos carbonados de las triosas-fosfato en intermediarios de tres a siete carbonos, que regeneran finalmente la ribulosa-1,5-bisfosfato como el aceptor de CO_2 .

El costo energético para la fijación de tres CO_2 es de 9 ATP y 6 NADPH que se producen en las reacciones luminosas fotosintéticas.

Cuatro enzimas del Ciclo de Calvin son activadas indirectamente por la luz y son inactivadas en la oscuridad, de manera que la fotosíntesis de hexosas no compite con la glicólisis, que es necesaria para obtener energía en la oscuridad.

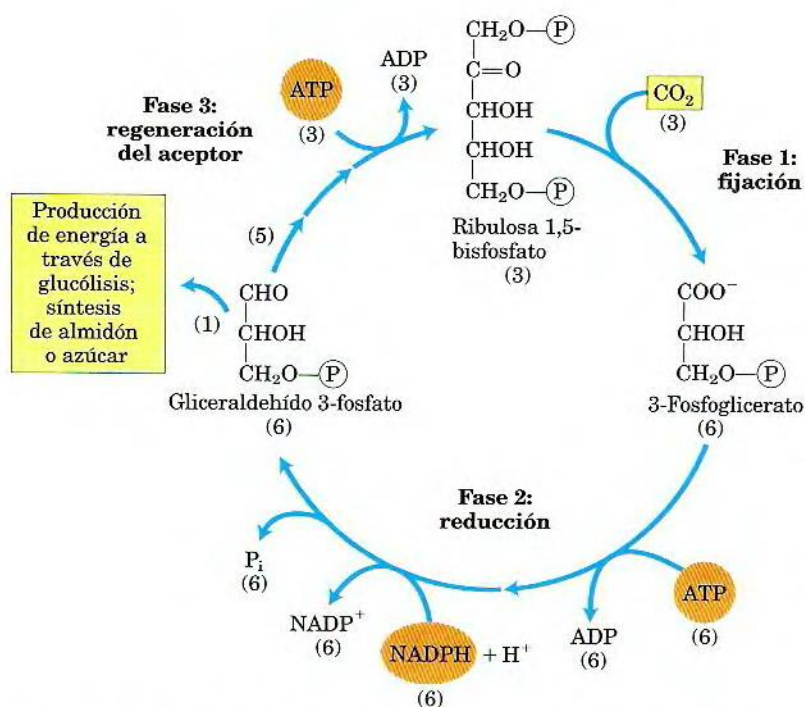


FIGURA 20-4 Las tres fases de la asimilación del CO₂ en los organismos fotosintéticos.

Las estequiometrías de tres intermediarios clave (números entre paréntesis) revelan el destino de los átomos de carbono que entran y salen del ciclo. Tal como se muestra aquí, se fijan tres CO₂ para la síntesis neta de una molécula de gliceraldehído 3-fosfato. Este ciclo es el ciclo de la reducción fotosintética del carbono o ciclo de Calvin.

Fig 20:Extraído de Lehninger A.L., Nelson D., Cox M., "Principios de Bioquímica", 2006.

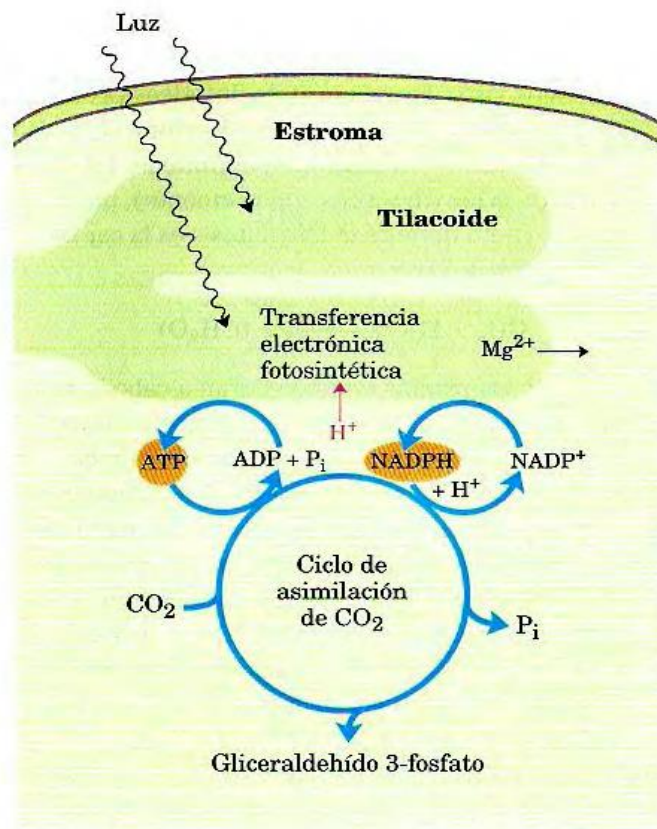


FIGURA 20-17 Fuente de ATP y NADPH. El ATP y NADPH producidos por las reacciones luminosas son sustratos esenciales para la reducción del CO₂. Las reacciones fotosintéticas que producen ATP y NADPH van acompañadas del movimiento de protones (rojo) desde el estroma al tilacoide, creando condiciones alcalinas en el estroma. Pasan iones Mg²⁺ desde el tilacoide al estroma, con lo que aumenta la [Mg²⁺] del estroma.

Fig21:Extraído de Lehninger A.L., Nelson D., Cox M., "Principios de Bioquímica", 2006.

Cuando la Rubisco utiliza O₂ en lugar de CO₂ como sustrato, el 2-fosfoglicolato formado se elimina mediante una ruta dependiente de oxígeno. El resultado es un aumento en el consumo de oxígeno, ruta conocida como Fotorrespiración en la que intervienen enzimas del estroma del cloroplasto, del peroxisoma y de la mitocondria. (Fig 22)

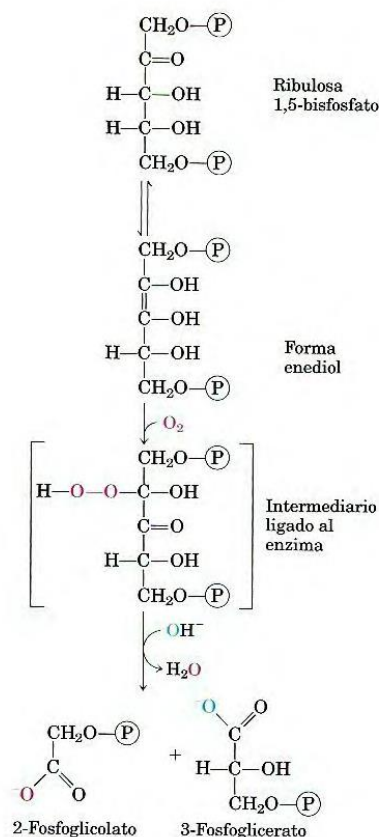


FIGURA 20-20 Actividad oxigenasa de la rubisco. La rubisco puede incorporar O_2 en lugar de CO_2 sobre la ribulosa 1,5-bisfosfato. El intermediario inestable así formado se escinde en 2-fosfoglicolato (que se recicla tal como se describe en la Fig. 20-21) y 3-fosfoglicerato, que puede volver a entrar en el ciclo de Calvin.

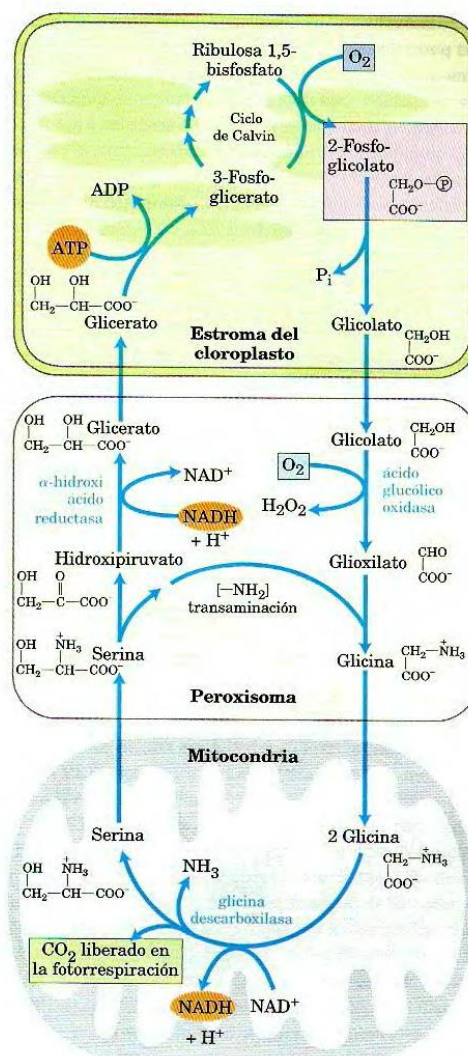
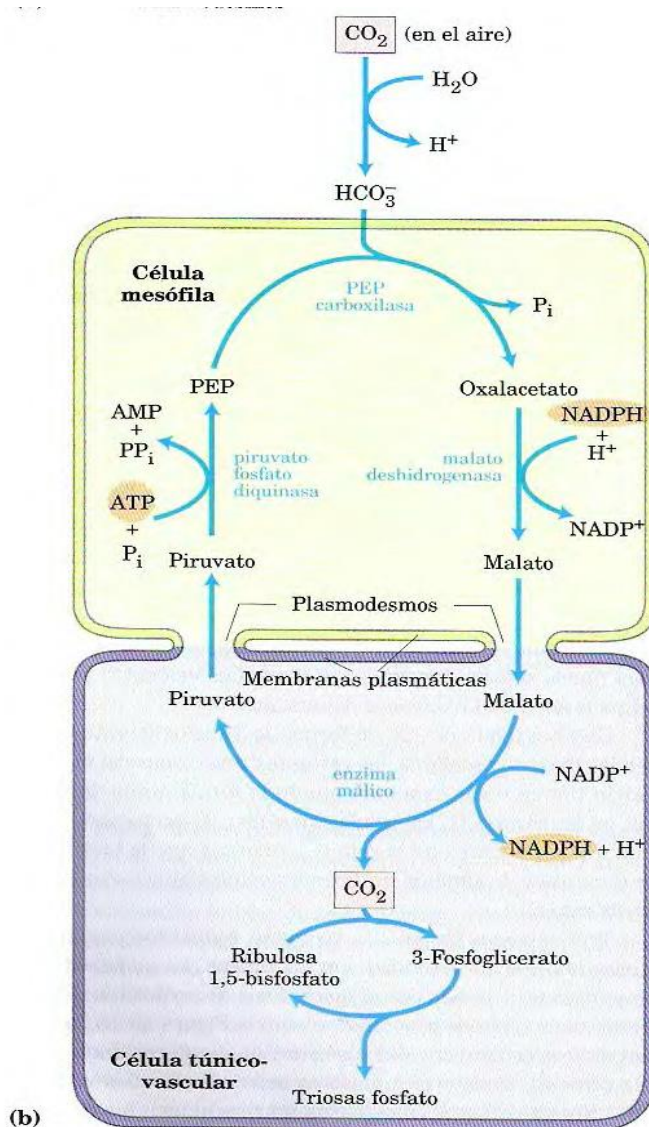


Fig22: Ruta del glicolato - fotorrespiración

Extraído de Lehninger A.L., Nelson D., Cox M., "Principios de Bioquímica", 2006.

En las plantas con metabolismo C_4 , la ruta de asimilación del carbono minimiza la fotorrespiración: el CO_2 se fija primero, en las células del mesófilo, a un compuesto de cuatro carbonos que pasa a las células túncico-vasculares donde se libera y se concentra. Allí mismo, este CO_2 es fijado por la Rubisco continuando con el Ciclo de Calvin como en las plantas C_3 . (Fig 23)

FIJACIÓN DEL CARBONO EN PLANTAS C₄

Asimilación de carbono en las plantas C₄. La ruta C₄, donde intervienen las células del mesófilo y las células túnico-vasculares, predomina en plantas de origen tropical.

Fig23:Asimilación del Carbono en plantas C4.

Extraído de Lehninger A.L., Nelson D., Cox M., "Pricipios de Bioquímica", 2006.

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

- 1) Cuando se ilumina una suspensión de algas verdes en ausencia de CO_2 y se incuba después con $^{14}\text{CO}_2$ en la oscuridad, el CO_2 se convierte en glucosa ^{14}C en un intervalo de tiempo reducido. ¿Cuál es el significado de esta observación con respecto a las dos fases de la fotosíntesis? ¿Por qué la conversión de $^{14}\text{CO}_2$ en glucosa ^{14}C se interrumpe al cabo de un intervalo de tiempo breve?
- 2) Regulación de la ribulosa 1,5-bisfosfato-carboxilasa (RubisCO) por el pH:
El valor de K_m para el CO_2 de la ribulosa 1,5-bisfosfato-carboxilasa disminuye significativamente cuando el pH del medio aumenta. ¿Cuál es el efecto de este cambio del K_m sobre la velocidad de fijación del CO_2 en la reacción de la carboxilación de la ribulosa 1,5-diP? ¿Cómo sirve esta propiedad para regular la velocidad de la fotosíntesis durante la iluminación de la planta? ¿Qué papel juega este proceso de regulación durante las horas oscuras?
- 3) Durante la noche las células de las hojas verdes, tanto de las plantas C_3 como C_4 efectúan la respiración y la fosforilación en sus mitocondrias consumiendo los sustratos producidos en la fotosíntesis en los períodos de luz precedente. ¿Respiran también las células de las hojas durante la actividad fotosintética o se interrumpe su respiración mitocondrial? ¿A qué se llama *fotorrespiración* y porque se considera que este proceso limita la eficiencia de las plantas C_3 ?
- 4) Si la planta de maíz, así como la caña de azúcar o el sorgo, se ilumina en presencia de $^{14}\text{CO}_2$ gaseoso, al cabo de 1 segundo, alrededor del 90 % de la radioactividad incorporada en las hojas se encuentra en los átomos de C-4 de malato, aspartato y oxalacetato. Solamente al cabo de 60 segundos aparece ^{14}C en el átomo de C-1 del 3-fosfoglicerato. Explique.

GUÍA DE ESTUDIO

Reacciones de fijación del carbono: localización celular del Ciclo de Calvin.

¿En qué fases se puede dividir el Ciclo de Calvin en las plantas de metabolismo C3?

Destaque la importancia de la enzima Rubis-CO en plantas C3.

¿Qué productos de las reacciones luminosas son utilizados en este ciclo? ¿En qué reacciones se utilizan?

¿Con qué otras dos vías metabólicas ya estudiadas, puede relacionar al Ciclo de Calvin?

¿Existen isoenzimas comunes entre ellas?

¿Cómo puede intervenir la Rubis-CO en la regulación de la fotosíntesis?

¿Por qué las reacciones de fijación del C se consideran también dependientes de la luz?

¿Qué importancia tiene las tiorredoxinas en esta regulación?

¿Cuál es la “desventaja” evolutiva de la Rubis-CO que provoca el fenómeno de fotorresporación? ¿Por qué se considera costosa para las plantas?

Abstraiga la importancia adaptativa de las plantas con metabolismo C4.